小笠原諸島父島における 20 世紀中の水文気候環境の変化

吉田圭一郎*・岩下広和**・飯島慈裕***・岡 秀一****

(*横浜国立大学教育人間科学部, **NPO 法人森づくりフォーラム,

地球環境観測研究センター, *首都大学東京都市環境学部)

本研究では父島気象観測所で観測された 78 年分(戦前:1907~1943 年, 占領期間:1951~1959 年, 返還後:1969~2000 年)の月別気温および降水量データを用いて小笠原諸島における水文気候環境の長期的な変化を解析した。占領期間および返還後の年平均気温は戦前と比較して 0.4~0.6℃ 高く, 年平均気温の上昇率は 0.75℃/100 yr であった。また, 返還後の年降水量は戦前に比べて約 20% 減少した。修正したソーンスウェイト法により算出した月別の可能蒸発量と水収支から, 年平均の水不足量(WD)が戦前に比べ返還後には増加したことがわかった。また, 返還後は夏季において水不足となる月が継続する期間が長くなった。これらのことから小笠原諸島における 20 世紀中の水文気候環境は乾燥化の傾向にあり, 特に夏季に乾燥の度合いが強まり, また長期化することにより夏季乾燥期が顕在化した。

キーワード:小笠原諸島, 父島, 水文気候環境, 長期変化, 水過剰量, 水不足量, 夏季乾燥期

I はじめに

大洋島における水文気候環境は, 独自の固有生物によって構成される島嶼生態系の成立にとって重要な要因の一つである(Vitousek and Benning 1995)。特に, 大陸から遠く離れた面積の小さな島嶼の場合, 生物の分布拡大には種間競争よりも必ずしも最適とは限らない環境条件への適応が求められるためにその重要度が高くなる。

島嶼生態系に関わる水文気候環境を考える場合, 二つの視点が必要となる。一つは空間的な視点であり, 島嶼の地理的な位置に起因する水文気候環境の潜在的な条件や, 小地形や標高などによる水文気候環境の島内での局地的な変化などである。もう一つは時間的な視点で, 水文気候環境の季節変化が生育条件に与える影響や, 地球規模の長期気候変動が生物地理や種分化に与える影響などである。現在の島嶼生態系の成立過程を考える際には, 現状の水文気候環境と島嶼生態系との空間的な対応関係を明らかにすることだけでなく, 長期間の水文気候環境の変動とその影響についても理解する必要がある。

本研究の調査対象地である小笠原諸島では, これ

まで主に前者の視点から島内の気候環境に関する研究がなされてきた。たとえば, 田上ほか(1987)や田上・菅野(1988)では島内の数地点で集中観測を行い, 気温や降水量の分布が地形の影響を受けていることを示唆した。また, Shimizu and Tabata(1991)は, 偏った植生分布から島内で水文気候環境に差異があることを推察し, 吉田ほか(2002)は夏季乾燥期に生じる土壌水分量の空間的な差異が父島の植生の成立過程に影響を与えていることを指摘した。しかし, 後者の視点である長期気候変動に関する研究は, 小笠原諸島が返還された 1968 年以降の観測資料に基づく限られた期間のものが大半で(たとえば, 戸塚 1988, 飯島ほか 2004), 第二次世界大戦以前のデータを含めた長期の気候変動に関する研究はほとんど行われてこなかった。これまでに筆者らは, 小笠原諸島父島における第二次世界大戦以前のデータを含めた気象観測データをまとめ, 年平均気温の上昇や年降水量の減少といった気候の長期的な変化についても言及した(Oka et al. 2001)。しかし, 解析に使用したデータの均質性の検討や, その後飯島ほか(2004)によって指摘されたソーンスウェイト法を可能蒸発量として適用する上での熱

収支的な再検討が不十分であった。これらの点を考慮した上で、乾燥の度合いを含めた水文気候環境の長期的な変化に関する考察を行う必要がある。

また、20 世紀以降の気候変化の傾向を明らかにし、実際の生物の応答様式と結び付ける実証的な研究は、今後予想されている地球温暖化に伴う気候変化による島嶼生態系の変化を予測するためにも重要な課題として残されている。

そこで、本研究では小笠原諸島で第二次世界大戦以前より観測が行われている父島気象観測所の観測データを検証し、それらを用いて 20 世紀中の父島における水文気候環境の長期的な変化について解析する。

II 調査地と研究方法

1. 調査地

小笠原諸島父島（北緯 $27^{\circ}5.4'$ ，東経 $142^{\circ}11.3'$ ）は、東京の南方約 1,000 km の亜熱帯域に位置する大洋島である（図 1）。父島は小笠原諸島最大の島で（面積は約 23.8 km^2 ），島の最高点は 326 m である。地形はいくつかの傾斜の緩やかな小起伏面や段丘状平坦面が存在するが（田村・今泉 1981），概して急峻であり，島の東側と南側は比高が 200 m に達する海食崖によって囲まれる。気候は比較的温暖な亜熱帯気候帯に属しており，父島気象観測所（3 m a.s.l.）での気象観測データ（1971～2000 年の 30 年平均）をみると，年平均気温 23.0°C ，年平均降水量 1,276.7 mm である。小笠原諸島では，琉球列島と比べて気温の年較差が小さく（岡 1989；山川 1989），春の昇温や秋の降温が那覇よりも遅れる（山川 1986）など，海洋性の特徴がより強く見出される。

2. 使用したデータとその均質性

本研究では，小笠原諸島父島の父島気象観測所で観測された気温と降水量の月別値を解析に用いた。

図 1 研究対象地域

Fig. 1 Map of study site

父島気象観測所での観測は 1906 年 5 月に開始し，現在まで観測地点は移動せずに継続されている。小笠原諸島の気象観測データをまとめた Maejima and Oka (1980) によると，第二次世界大戦の影響で 1944 年から返還される 1968 年までの観測データは気象庁には残されておらず欠測扱いであった。しかし，アメリカ合衆国の Oak Ridge National Laboratory と National Climatic Data Center が編集している Global Historical Climatology Network (GHCN; Vose et al. 1992) に，気温は 1949～1963 年，降水量は 1951～1960 年の父島の観測データが収録されていることが明らかとなった。これらを加えて，通年で月別の平均気温と降水量の両方の観測データがそろっている，1907～1943 年（以下「戦前」とする），1951～1959 年（以下「占領期間」とする），1969～2000 年（以下「返還後」とする）の，全体で 78 年分の月平均気温・降水量の観測データを解析に用いた。

長期間のデータを扱う際には，その間の観測環境

の変化、測器などの変化や統計値の算出方法の差に留意する必要がある。これは、観測データの連続性が失われる場合があるため、特に観測地点の変更の場合は連続性がないとされる場合が多い（山本 2000）。父島気象観測所での気象観測地点は、観測開始以来すべての期間を通じて場所の移動はなく（鹿野 1969）、現在も露場周囲は芝生面が広がり建築物も建て込んではいない。したがって、観測環境の変化による影響は小さいと考えられる。

次に、返還後以降の測器変更による影響を検討した。気温の観測については、一般に測器の変更においても連続性があるとされる（山本 2000）。後述するが、月平均気温から算定した年平均気温の年々変化では、日本全体における年々変化（気象庁 2002）とよく対応した。また、戦前と返還後の年変化を比較すると（図 2-a）、東日本で指摘される寒候期における気温上昇が確認できる。これらのことから、父島気象観測所における月平均気温データは、中断を挟んで連続性は保たれており、期間ごとの差違は気候の長期的な変化を示すものとみなした。

本研究で使用した月別の平均気温は日平均気温を平均したもので、日平均気温の算出方法は期間によって異なる¹⁾。そこで、父島気象観測所における 10 年分の時間別観測値（1991～2000 年）をもとに Können et al. (2003) と同様の方法で検証したところ、算出方法間での誤差は最大でも $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 程度であった。したがって、本稿ではこれらのデータについては算出方法の違いによる影響はないものとして解析した。一方、GHCN から得た観測値については、観測値の提供元の情報が無く、月平均気温の算出方法とその元となる観測データについては不明である。そのため、1971 年以降の年平均気温の変動が父島と高い相関関係（ $r=0.81$ ）を示す南大東島の観測データをもとに GHCN から得られた観測値の妥当性を検討した。まず、日平均気温の算出方法が同じである 1971～1990 年の観測値を用いて、

図 2 父島気象観測所の戦前（1907～1943：細線）と返還後（1969～2000：太線）の (a) 月平均気温と (b) 月降水量の年変化とその差（棒グラフ）

Fig. 2 Annual variations in (a) mean monthly air temperature and (b) monthly precipitation during 1907-1943 (thin lines) and 1969-2000 (bold lines) and their differences (bars) on Chichi-jima

月平均気温の 20 年平均を算出した。次に各月ごとに父島と南大東島の 20 年平均の差を求め、それらを補正值として 1951～1959 年における南大東島の観測値から同時期における父島の月平均気温を推定した。この推定された月平均気温と GHCN から得られた観測値との差をウィルコクソンの符号付順位検定によって検定したところ、統計的に有意な差は認められなかった（ $z=1.87$, $P>0.05$ ）。両者間には平均値で 0.18°C の差があるため GHCN データには同程度の誤差を含んでいる可能性はあるが、統計的に有意な差が認められなかったことから、本研究では補正を行わずそのまま解析に用いた。

降水量については、貯水型指示雨量計から転倒桁型雨量計への交替による降水の捕捉率の変化が考え

られる。父島気象観測所では返還後を境に転倒枡型雨量計による観測に移行している。転倒枡型雨量計は少降水量の際に転倒枡や濾水器に溜まった水が蒸発してしまうことや（松園 1974）、逆に多降水量の場合に転倒枡から取りこぼされる降水があることが知られており（牛山 2000）、後者の効果による降水量の過小評価が考えられる（松本 1974）。年降水量などの積算値で比較すると、転倒枡型雨量計は 10% 程度少なくなる傾向があるが（松本 1974; 牛山 2000）、明確な補正方法は提示されていない。『地上気象観測統計指針追録第 3 号』（気象庁 1992）では、1967 年以前の降水量統計値はそのまま接続するとしている。

父島気象観測所の年降水量の期間平均値では、III で述べる通り長期的に降水量が 20% 程度減少していた。図 2-b には戦前と返還後における月降水量の期間平均値とその月別の差を示した。戦前と返還後を比較すると、3～5 月と 8～10 月に 30～40 mm 程度の大きな差がみられるが、11 月には差がみられない。また、月降水量とその戦前と返還後での変化量との間には明確な対応関係は認められない。これらのことは占領期間と戦前とを比較した場合も同様であった²⁾。したがって、測器変更の影響は含まれていると思われるが、降水量データについては測器変更による影響以上に、気候変化が反映されていると考えられた。

以上の注意点があることを踏まえ、本研究では入手した月平均気温および月降水量の観測データには系統的な補正を施さず連続した時系列データとして解析した。

3. 解析方法

水文気候環境の年々変化を明らかにするために、本研究ではソーンスウェイト法（Thornthwaite 1948）による可能蒸発散量（ PET ）を算出した。計算式は下記の通りである。

$$PET_i = \begin{cases} 0, & (T_i < 0^\circ\text{C}) \\ \left[0.533 \left(\frac{10T_i}{I_i} \right)^a \right] \frac{h_i}{12} \frac{D_i}{30} & (0 \leq T_i \leq 26.5^\circ\text{C}) \\ (-13.86 + 1.075T_i - 0.0144T_i^2) \frac{h_i}{12} \frac{D_i}{30} & (T_i > 26.5^\circ\text{C}) \end{cases}$$

$$I_i = \sum_{j=1}^{12} i_j, \quad i = \left(\frac{T_i}{5} \right)^{1.514},$$

$$a = (6.75 \times 10^{-7} I_i^3) - (7.71 \times 10^{-5} I_i^2) + (1.79 \times 10^{-2} I_i) + 0.492 \quad (1)$$

ここで、 T_i は i 月の月平均気温（ $^\circ\text{C}$ ）、 h_i は i 月の可照時間（ h ）、 D_i は i 月の日数、 I_i は i 月の年間熱指数である。ソーンスウェイト法による PET は気温のみから算定できるため、地表面熱収支の詳細な気象観測データがない長期データへの適用ができる。しかし、アメリカ東部の観測結果に基づいて作成された経験式であるため、本地域のように気候帯の大きく異なる場所への適用の際には、注意が必要である。飯島ほか（2004）は、1970～1999 年の期間について、父島気象観測所におけるポテンシャル蒸発量（近藤・徐 1997）とソーンスウェイトの PET を比較し、1～4 月にかけてソーンスウェイトの PET が大きく過小評価となることを示した。それはこの期間に北西の季節風の影響を受けて、可照時間に比べて気温が低く、計算上過小評価してしまうためと考えられる。また、図 3-a にはそれら二つの PET に加えて、浅野（1968）がまとめた 1907～1940 年の小型蒸発計による蒸発量の年変化も示した。図 3-a からわかるように、期間が異なっているにもかかわらず可能蒸発量の一種と考えられる小型パン蒸発計の蒸発量はポテンシャル蒸発量ときわめて調和的である³⁾。以上から、本研究では（1）式で求めたソーンスウェイトの PET について、1969～2000 年の 32 年間平均のポテンシャル蒸発量との各月の差分（図 3-b）を用いて全期間の計算結果を補正した。

本研究ではさらに、修正された月別の可能蒸発量（ PET_i ）と月降水量（ P_i ）との比較から、以下の式

図3 月積算ポテンシャル蒸発量 (近藤・徐 1997) とソーンスウェイトの PET の (a) 年変化と (b) その差 (平均値)

E_{pot} : ポテンシャル蒸発量 E_{th} : ソーンスウェイトの PET E_{pan} : 小型パン蒸発計蒸発量
ポテンシャル蒸発量とソーンスウェイトの PET は 1969~2000 年の平均値を示す. 小型パン蒸発計蒸発量は浅野 (1968) による 1907~1940 年の平均値を示す.

Fig. 3 (a) Annual variations in monthly Kondo and Xu potential evaporation and Thornthwaite potential evapotranspiration during 1969~2000 and (b) their mean differences

E_{pot} : Kondo and Xu potential evaporation
 E_{th} : Thornthwaite potential evapotranspiration
 E_{pan} : pan-evaporation during 1907~1940

により, 水文気候環境の指標として地上における月別の水過剰量 (WS_i), 水不足量 (WD_i) を算出した.

$$\begin{cases} WS_i = (S_{i-1} + \Delta S_i) \\ WD_i = 0 & (S_{i-1} + \Delta S_i \geq S_{fc}) \\ S_i = S_{fc} \end{cases} \quad (2a)$$

$$\begin{cases} WS_i = 0 \\ WD_i = 0 & (S_{fc} > S_{i-1} + \Delta S_i \geq 0) \\ S_i = S_{i-1} + \Delta S_i \end{cases} \quad (2b)$$

$$\begin{cases} WS_i = 0 \\ WD_i = -(S_{i-1} + \Delta S_i) & (0 > S_{i-1} + \Delta S_i) \\ S_i = 0 \end{cases} \quad (2c)$$

$$\Delta S_i = R_i - PET_i$$

ここで, S_i は月別の土壤水分量, S_{fc} は圃場容量である. 水過剰量と水不足量はどちらも正の値であり, また同時に 0 より大きい値にはなることはない. Thornthwaite (1948) は圃場容量を 100 mm と仮定している. 吉田ほか (2002) は土壤水分量の実測値 (降水直後で最大 55%) と観測地点の土壤の厚さ (約 20 cm) から, 父島における圃場容量は水頭換算で 100 mm 程度であると推定した. また, 父島の土壤は A 層の厚さがおおむね 10~30 cm である (加藤・宇津川 1981) ことから, 本研究では父島の圃場容量を 100 mm として水過剰量と水不足量を算出した.

III 小笠原諸島における気候の長期変化

1. 年平均気温と年降水量の経年変化

父島気象観測所における年平均気温と年降水量の経年変化を図 4 に示す.

年平均気温は戦前の期間平均が 22.6°C, 占領期間が 23.3°C, 返還後が 23.0°C で, 戦前に比べ, 占領期間と返還後の年平均気温が 0.4~0.6°C 程度高かった. 年平均気温は期間全体で 0.75°C/100 yr の上昇率で変化していた.

父島における年平均気温の長期的な変化は, 日本全体における年平均気温の経年変化 (気象庁 2002) と類似していた (図 4-a). 1907 年から 1940 年代までは 22.5°C 周辺で推移し, 比較的低温な期間であったが, 1950 年以後は年平均気温の上昇傾向がみられ, 1950 年代から 1960 年代前半までは年平均気温が 23.0~23.5°C の高温な期間であった. その後, 1970 年代から 1980 年代半ばまでのやや低温な期間を経て, 1980 年代半ば以降は再度の年平均気温の上昇傾向がみられ, 1990 年代の年平均気温はおおよそ 23.0°C 以上の高い値で推移した.

経年変化が日本全体のものと類似する一方で, 父島の年平均気温は 1990 年代以降では 1950 年代とほ

図4 父島気象観測所の (a) 年平均気温 (太線) と (b) 年降水量
a の細線は日本の平均気温 (気象庁 2002) を示す。

Fig. 4 Time series of (a) mean annual air temperature (bold line) and (b) annual amount of precipitation on Chichi-jima

The thin line in (a) denotes mean annual air temperature in Japan.

ば同等であり, 1990 年代以降の年平均気温が 20 世紀で最も高くなる日本全体の経年変化とは異なっていた。飯島ほか (2005) は, 北西太平洋に位置する島嶼間での夏季の平均気温の経年変化の比較から, 同様に父島においてのみ 1980 年代以降の高温な期間が現れないことを示し, 父島の気温については他の地点とは異なる別の変化要因 (たとえば, 小笠原高気圧の年々変動など) があることを示唆した。夏季だけでなく年平均気温においても, 地球規模の気候変化だけでなく, こうした地域的な変化要因が関わっている可能性がある。

年降水量は, 戦前の期間平均が 1,611.1 mm, 占領期間が 1,309.2 mm, 返還後が 1,277.2 mm で, 返還後の年降水量は戦前に比べおおよそ 20% 程度少なくなっていた (図 4-b)。戦前の 37 年間にはま

ったく出現しなかった年降水量が 1,000 mm 以下になる年が返還後の 32 年間では 4 回も出現した。このように 20 世紀前半に比べて後半で降水量が少ない年の出現頻度が増加する傾向は北太平洋島嶼の全体的な特徴として報告されており (飯島ほか 2005), 父島においても同様に少雨化が進行していると考えられる。

2. 水文気候環境の経年変化

修正したソーンスウェイト法による可能蒸発量と月降水量に基づいて算出した水過剰量 (WS) と不足量 (WD) の季節一経年断面を図 5 に示す。

戦前は夏季 (7 月から 9 月) を除いた期間で連続して水過剰になることが多く, 4 月から 5 月と 10 月から 12 月にかけての水過剰量 (WS) が特に多

図5 水過剰量 (a) と水不足量 (b) の年一月アイソプレス
Fig. 5 Isopleths of (a) water surplus and (b) water deficit

かった。一方、占領中や返還後には年間の水過剰量は減少し（戦前 380.6 mm, 占領期間 178.5 mm, 返還後 189.9 mm）、水過剰となる期間は断片化した。返還後には平均 2.5 月／年が水過剰であり、戦前の平均 4.8 月／年と比較して頻度が小さくなった。戦前には水過剰量が特に多かった 4 月から 5 月や 11 月から 12 月が水過剰でない年も出現するようになった。

全期間を通じて、気温の高い夏季の 7 月と 8 月はほぼ毎年のように水不足量 (WD) が 10 mm 以上となり、水不足が生じていた。戦前においては水不足の発生は 6 月から 8 月の夏季にほぼ限定されていたが、占領期間や返還後には、3 月から 4 月にも水不足が生じており、また夏季においても水不足が生じる期間は 6 月から 8 月を中心に 10 月まで長期間

継続する傾向がみられた。また、夏季（6 月から 8 月）における水不足量の総量は戦前のものと比較して返還後では約 1.8 倍になっており（戦前 89.3 mm, 占領期間 120.6 mm, 返還後 161.9 mm）、水不足の傾向が強くなっていた。

3. 小笠原諸島における気候の長期的な変化

小笠原諸島における気候の長期的な変化に言及した既存の研究は年降水量の減少について述べたものがあるだけで（山川 1982）、これまでほとんど行われてこなかった。ここでは、各年代において気象データを解析した研究成果を比較することで、本研究の結果とともに気候の長期的な変化について考察する。

前島・岡（1979）は戦前のデータ（1907～1940

年の累年半年平均値)を用いて、自然季節区分を試みた。気温が高く、降水量が少なくなる盛夏は35半旬(6月20日～24日)から57半旬(10月8日～12日)に認められた。戦後のデータ(1969～1980年の累年半年平均値)を用いて同様の自然季節区分を行った岡(1989)は、年ごとの変動が激しいとしながらも、盛夏を6月上旬から10月下旬に区分した。この結果から、岡(1989)は、戦前のデータに基づいた前島・岡(1979)の区分との比較から、盛夏を挟んだ季節の境界がずれることを指摘し、戦前に比べて返還後には盛夏が長くなったことを示唆した。

前島・岡(1979)は1911年から1940年までの月別平均値を用いてソーンスウェイト法による可能蒸発散量に基づいた水収支も算出した。その結果、7月と8月には可能蒸発散量が降水量を上回り、8月にのみ7 mmの水不足が生じていることを示した。一方、戸塚(1988)は返還後のデータである1970年から1985年の月別平均値を用いて前島・岡(1979)と同様に水収支を算出し、6月から9月に水不足量が発生し、この期間が季節的な乾燥期間であることを示した。また、岡(1989)では、1969年から1980年のデータを用いて水収支を算出したところ、7月から9月に水不足が生じていることが示され、同様にOka et al. (2001)においても1970年代以降ほとんどの年で7月と8月には水不足が生じていることが指摘された。飯島ほか(2004)は1970年以降の気象観測データを用いて熱収支的な方法による可能蒸発量を算出し、ポテンシャル蒸発量と降水量との比である気候湿潤度(近藤・徐 1997)から、1970年以降の平均値では1月中旬から4月中旬と6月中旬から9月中旬までが乾燥した時期となっていることを明らかにした。また飯島ほか(2004)は、近年の乾燥化についても論じており、特に夏季における乾燥期間の出現頻度が1986年以降多くなる傾向を示した。そして、本研

究では、夏季において水不足量が10 mm以上となる乾燥期間が戦前には7月と8月にほぼ限られていたのに対して、返還後には6月から10月までと継続期間が長期化したことがわかった。さらに、返還後の夏季(6月から8月)における水不足量は戦前に比べて増え、乾燥の度合いが強くなっていた。これらのことから、年平均気温の上昇や年降水量の減少にみられた小笠原諸島における気候の乾燥傾向は、特に夏季における乾燥の度合いの強まりと乾燥期間の長期化をもたらした。そしてその結果、返還後には夏季の乾燥期が顕在化するようになった。

近年の研究から、毎年のように出現するこの夏季乾燥期が小笠原諸島における島嶼生態系の成立過程、特に植生の成立過程に大きな影響を与えることがわかってきた。たとえば、吉田ほか(2002)は、清水(1989)などで示された乾燥環境に適応した構成樹種の形態変化が、夏季乾燥期に生じる土壌水分量の空間的な不均一性と対応することを詳細な観測結果より示した。また、本研究で明らかにしたような乾燥期間の長期化や乾燥の度合いの強まりを伴う気候の長期的な変化が生態系を大きく変化させる可能性が指摘されている(Loope and Giambelluca 1998)。特に小笠原諸島のような小さな島嶼では環境変化に対する生態系の抵抗性が弱く、生物種の絶滅などといった大きな変化が容易に引き起こされると考えられる(清水 1989)。実際に、夏季乾燥期に100 mm以上の水不足量が長期間継続した1980年には(図5を参照)、最も著しい場所で林冠を構成する樹木のうち50～70%がまとまって枯死した(清水 1982)。さらに、短期間の干ばつだけでなく、最近では長期間におよぶ気候変化に対応した生態系の変化が多くの地域で報告されつつあり(Walther et al. 2002)、小笠原諸島でも1980年の干ばつの影響を含む長期的な乾燥傾向と関連づけられた種組成や個体数の長期的な変化が報告されている(清水 1999)。

小笠原諸島は熱帯と温帯が夏季と冬季で入れ替わる漸移帯であり、また乾湿においても湿潤から乾燥への境界に位置する(戸塚 1988; 飯島ほか 2005)。したがって、本研究で明らかになった20世紀中の乾燥傾向が今後も進行するとすれば、水文気候環境からみた水不足の頻度や乾燥の度合いが強くなり、島嶼生態系が変化することが予想される。今後は、小笠原諸島における水文気候環境の年々変化とその島嶼生態系に対する影響について詳細な観測研究を行うとともに、熱帯と中緯度の両方の影響をうけた小笠原諸島における気候変化のメカニズムについて明らかにしていく必要がある。

IV ま と め

本研究では、小笠原諸島父島の父島気象観測所における78年分(戦前:1907~1943年, 占領期間:1951~1959年, 返還後:1969~2000年)の月別の気温と降水量の観測データを解析し、小笠原諸島における水文気候環境の長期的な変化について明らかにした。本研究で明らかになったことをまとめると以下の通りである。

1) 戦前の年平均気温に比べ、占領期間および返還後の年平均気温は $0.4\sim0.6^{\circ}\text{C}$ 程度高かった。また、この期間における年平均気温の上昇率は $0.75^{\circ}\text{C}/100\text{ yr}$ であった。

2) 返還後の年降水量は戦前に比べて20%程度少なくなっていた。また、戦前の37年間にはまったく出現しなかった年降水量が $1,000\text{ mm}$ 以下になる年が返還後には32年で4回出現した。

3) 修正したソーンスウェイト法による可能蒸発量と年降水量に基づき水過剰量(WS)と水不足量(WD)を算出した。戦前に比べ返還後には水過剰量(WS)は減少し、水不足量(WD)が増加する傾向がみられた。また、戦前は7月と8月にほぼ限定された水不足の期間が、返還後は3月から4月と6月から10月までと長期化した。

4) 夏季(6~8月)における水不足量の総量は戦前と比較して返還後は約1.8倍になっており、水不足の傾向が強くなった。

5) 年平均気温の上昇や年降水量の減少にみられた小笠原諸島における乾燥傾向は、夏季における乾燥の度合いの強まりや乾燥期間の長期化を引き起こし、結果として夏季乾燥期の顕在化をもたらした。

本稿は2001年度日本地理学会秋季学術大会(於 秋田大学)で発表したものに加筆・修正を加えて作成した。本稿を作成するにあたり専修大学の青山高義先生にはソーンスウェイト法のプログラムを提供していただいた。近藤純正先生(東北大学名誉教授)には、日本の小型パン蒸発計蒸発量と可能蒸発量との対応関係について有益なコメントをいただいた。また、神戸大学の財城真寿美氏には、日平均気温の算出方法の違いによる誤差の検証方法について有益なコメントをいただいた。ここに記して感謝申し上げます。

研究の遂行にあたり、科学研究費補助金(若手研究(B)、代表者吉田圭一郎、課題番号17700640)の一部を使用した。

(投稿 2006年1月17日)

(受理 2006年7月8日)

注

- 1) 日平均気温は、1907年から1939年までが6個(2, 6, 10, 14, 18, 22時), 1940年から1944年までが3個(6, 14, 22時), 1969年から1990年までが8個(3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24時), 1991年以降は各正時の24個、それぞれの観測値を平均して算出したものである。
- 2) 戦前と占領期間における月降水量の期間平均値には3~6月に $50\sim90\text{ mm}$ の大きな差がみられるが、1~2月と12月には 10 mm 程度の差がみられるにすぎなかった。また、戦前と返還後の比較と同様に月降水量とその戦前と返還後での変化量との間には明確な対応関係は認められなかった。
- 3) 理論的な検討によれば、同一気象条件では、小型蒸発計蒸発量は浅い水面からの蒸発量(ポテンシャル蒸発量に相当)に比べ、約1.5倍になる(近藤・桑形 1992)。しかし、日本の1966年以前の小型蒸発計は地面から 20 cm の高さに設置されていたため、風速が弱くなり蒸発量が少ないことがわかっている。その結果、日本の小型蒸発計の観測値とポテンシャル蒸発量との比は $0.9\sim1.3$ 程度になる(近藤・徐, 2006年の私信)。本研究で用いた1907~1940年の小型蒸発計の蒸発量(月積算値)

と1970~2000年のポテンシャル蒸発量(月積算値)との比は平均すると1.05(最小月0.98~最大月1.15)であり, 近藤・徐らの結果と矛盾しない範囲にある。

文 献

- 浅野 芳 1968. 父島周辺の気候. 気象 12: 2152-2155.
- 飯島慈裕・吉田圭一郎・岩下広和・岡 秀一 2004. ポテンシャル蒸発量からみた小笠原諸島父島における水文気候環境の変化. 小笠原研究年報 27: 97-104.
- 飯島慈裕・吉田圭一郎・岩下広和・岡 秀一 2005. 北太平洋島嶼の長期気候データ解析からみた父島の水文気候的位置. 小笠原研究年報 28: 63-72.
- 牛山素行 2000. 降水量. 牛山素行編『身近な気象・気候調査の基礎』81-94. 古今書院.
- 岡 秀一 1989. 小笠原の自然環境 (2. 気候). 宮脇 昭編『日本植生誌 沖縄・小笠原』76-80. 至文堂.
- 加藤芳朗・宇津川 徹 1981. 父島の土壌. 東京都立大学自然環境現況調査班編『小笠原諸島自然環境現況調査報告書 (2)』133-142. 東京都環境保全局.
- 気象庁 1992. 『地上気象観測統計指針追録第3号』気象庁.
- 気象庁 2002. 『20世紀の日本の気候』財務省印刷局.
- 近藤純正・桑形恒男 1992. 日本の水文気象 (1) —— 放射量と水面蒸発. 水文・水資源学会誌 5(2): 13-27.
- 近藤純正・徐 健青 1997. ポテンシャル蒸発量の定義と気候湿度. 天気 44: 875-882.
- 鹿野 到 1969. かえってきた父島気象観測所. 気象 13: 2365-2367.
- 清水善和 1982. 1980年夏の干ばつが父島の植生に与えた影響について. 東京都立大学自然環境現況調査班編『小笠原諸島自然環境現況調査報告書 (2)』31-37. 東京都環境保全局.
- 清水善和 1989. 小笠原諸島にみる大洋島森林植生の生態的特徴. 宮脇 昭編『日本植生誌 沖縄・小笠原』159-203. 至文堂.
- 清水善和 1999. 小笠原諸島父島における乾性低木林の21年間の個体群動態. 保全生態学研究 4: 175-197.
- 田上善夫・束村康文・須田芳彦・菅野洋光 1987. 小笠原父島の気温の変動と分布. 小笠原研究年報 10: 71-80.
- 田上善夫・菅野洋光 1988. 小笠原の雨の降り方——降りやすい地域と時刻について. 小笠原研究年報 11: 56-73.
- 田村俊和・今泉俊文 1981. 陸上の地形. 東京都立大学自然環境現況調査班編『小笠原諸島自然環境現況調査報告書 (2)』70-84. 東京都環境保全局.
- 戸塚晶子 1988. 小笠原諸島の気候的位置. 小笠原研究年報 11: 74-79.
- 前島郁雄・岡 秀一 1979. 小笠原父島の気候特性. 小笠原研究年報 3: 12-19.
- 松園光義 1974. 貯水型指示雨量計と転倒ます型雨量計による観測値の差について. 研究時報 26: 37-40.
- 松本 久 1974. 転倒ます型雨量計について. 研究時報 26: 37-40.
- 山川修治 1982. 小笠原の雨について——日降水特性を沖縄と比較して. 小笠原研究年報 6: 65-72.
- 山川修治 1986. 小笠原の気団について——その季節推移と構造. 小笠原研究年報 9: 1-9.
- 山川修治 1989. グローバルな視野からみた沖縄と小笠原の自然環境 (1. 気候). 宮脇 昭編『日本植生誌 沖縄・小笠原』98-106. 至文堂.
- 山本 哲 2000. 気象庁の観測網. 牛山素行編『身近な気象・気候調査の基礎』147-160. 古今書院.
- 吉田圭一郎・飯島慈裕・岩下広和・岡 秀一 2002. 水文気候条件からみた小笠原諸島父島における乾性低木林の立地環境. 地学雑誌 111: 711-725.
- Können, G. P., Zaiki, M., Baede, A. P. M., Mikami, T., Jones, P. D., and Tsukahara, T. 2003. Pre-1872 extension of the Japanese instrumental meteorological observation series back to 1819. *Journal of Climate* 16: 118-131.
- Loope, L. L., and Giambelluca, T. W. 1998. Vulnerability of island tropical montane cloud forests to climate change, with special reference to east Maui, Hawaii. *Climate Change* 39: 503-517.
- Maejima, I., and Oka, S. 1980. Climatic records of the Ogasawara (Bonin) islands. *Ogasawara Research* 3: 1-42.
- Oka, S., Yoshida, K., Iwashita, H., Iijima, Y., and Satoh, T. 2001. Interannual Variability of the Hydroclimatic Environment, based on the Water Balance at Chichi-jima Island in the Bonin (Ogasawara) Islands. *Ogasawara Research* 26: 15-33.
- Shimizu, Y., and Tabata, H. 1991. Forest structure, composition, and distribution on a Pacific Islands, with reference to ecological release and speciation. *Pacific Science* 45: 28-49.
- Thornthwaite, C. W. 1948. An approach toward a rational classification of climate. *Geographical Review* 38: 55-94.
- Vitousek, P. M., and Benning, T. L. 1995. Ecosystem and landscape diversity: Islands as model systems. In *Islands: Biological diversity and ecosystem function*, ed. P. M. Vitousek, L.L. Loope and H. Adersen, 73-82. Berlin: Springer Verlag.
- Vose, R. S., Schmoyer, R.L., Steurer, P. M., Peterson, T. C., Heim, R., Karl, T. R., and Eischeid, J. K. 1992. *The global historical climatology network: Long-term monthly temperature, precipitation, sea-level pressure, and*

station pressure data. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory.
Walther, G.-R., Post, E., Convey, P., Menzel, A., Parmesan, C., Beebee, T. J. C., Fromentin, J.-M., Hoegh-

Guldberg, O., and Bairlein, F. 2002. Ecological responses to recent climate change. *Nature* 416 : 389–395.

Geographical Review of Japan 79–10 516–526 2006

Long-term Change in the Hydroclimatic Environment during the 20th Century on Chichi-jima in the Ogasawara (Bonin) Islands

YOSHIDA Keiichiro*, IWASHITA Hirokazu**, IJIMA Yoshihiro***, and OKA Shuichi****

(*Faculty of Education and Human Science, Yokohama National University, **NPO Moridukuri Forum, ***Institute of Observational Research for Global Change, ****Faculty of Urban Environmental Science, Tokyo Metropolitan University)

We examined the long-term change in the hydroclimatic environment during the 20th century on Chichi-jima in the Ogasawara Islands using monthly climatic data observed at the Chichi-jima Observatory over 78 years : 1907–1943, 1951–1959, and 1969–2000. The mean annual temperature for 1907–1943 was about 0.4–0.6°C lower than that for 1951–1959 and 1969–2000. The mean annual temperature during the analyzed period increased by 0.75°C 100 yr⁻¹. The average annual precipitation for 1969–2000 was about 20% less than that for 1907–1943. The water balance and the compensated potential evaporation calculated using the method of Thornthwaite demonstrated that the mean annual amounts of the water deficit (WD) in 1969–2000 were greater than those in 1907–1943. The dry months in summer, when the potential evaporation exceeded precipitation, persisted longer during 1969–2000 than during 1907–1943. These results suggest that the hydroclimatic environment during the 20th century tended to be drier on Chichi-jima in the Ogasawara (Bonin) Islands. The long-term change in the hydroclimatic environment also caused the summer dry season to be much longer and drier.

Key words : Ogasawara (Bonin) Islands, Chichi-jima, hydroclimatic environment, long-term change, water surplus, water deficit, summer dry season